

利用奇异值分解方法预测 东北地区夏季气温

杨 青^{1,2} 廉 毅³ 何金海¹

(1. 南京气象学院, 210044; 2. 辽宁省丹东市气象局; 3. 吉林省气象科学研究所)

提 要

利用 1961~2002 年东北地区 80 个测站的夏季气温和冬季北太平洋海温场资料, 采用奇异值分解技术, 探讨了前冬北太平洋海温与东北地区夏季气温之间的关系。结果表明, 前冬北太平洋海温场与东北地区夏季气温之间存在着较好的相关关系, 并基于 SVD(Singular Value Decomposition)分析的结果, 建立了用前冬北太平洋海温场预测东北地区夏季气温定量空间分布的方法。从近几年的试报效果看, 此方法具有一定的预测能力和较好的稳定性。最后, 采用此方法和 2002 年冬季北太平洋海温场实况资料对 2003 年东北地区夏季气温做出了预测。

关键词: 奇异值分解 夏季气温 预测

引 言

东北地区地处中高纬度及欧亚大陆东端, 属温带大陆性季风气候区, 在夏季同时受中高纬度大气环流及热带、副热带天气系统影响, 气温的变化较为异常, 具有一定的阶段性及年代际变化等特征^[1,2], 如 20 世纪 60、70 年代低温冷害频繁发生, 而自 90 年代后夏季持续性高温天气发生的年份增加, 如 1997、1999、2000 和 2001 年。在文献[3]中, 讨论了北太平洋海温异常对中国东北地区夏季气温的影响, 表明东北地区夏季气温与北太平洋海温异常之间存在着较为密切的联系, 可以将前期北太平洋海温异常特征作为预测当年夏季东北地区夏季气温具有一定指示意义的前兆信号。本文在此工作的基础上, 利用前冬北太平洋海温场资料, 基于 SVD 的分析结果, 建立了东北地区夏季气温定量的空间分布预测方法, 并对近几年的夏

季气温进行了试报, 以检验此方法的预报效果, 最后对 2003 年的夏季气温做出了预测。

1 资料和方法

气温资料为东北地区(包括黑龙江省、吉林省、辽宁省和内蒙古东四盟)共 80 个测站 1961~2002 年夏季(6~8 月)平均气温, 海温资料选取北太平洋 10°S~50°N、120°E~80°W 范围内 5°×5°经纬度共 286 个格点的月平均海面温度, 海温资料来自于国家气象中心。

利用 SVD(Singular Value Decomposition)方法可分析两个要素场之间的相互关系, 能最大限度地从两个要素场中分离出多个相互独立的耦合模态, 揭示出它们之间所存在的时域相关性和空间联系, 这种耦合的空间分布型能最大限度地解释两场的交叉协方差。一些研究表明, SVD 技术在分析两个要素场之间的联系时具有较强的普适性^[4]。

取前冬北太平洋海温场为左场, 东北地

区80个测站夏季气温为右场,以1961年为起始年,分别取1997、1998、1999、2000、2001和2002年为终止年,对海温场和气温场做奇异值分解,其中1997~2001年的结果用于做下一年的试报,2002年的结果用于做2003年夏季气温的预报。

设两个变量场 $X_{m_1 \times n}$ 、 $Y_{m_2 \times n}$, 在本文中 $X_{m_1 \times n}$ 为前冬北太平洋海温场、 $Y_{m_2 \times n}$ 为东北地区夏季气温量场, m_1 为海温场格点数、 m_2 为测站数、 n 为样本数。 $A = X \cdot Y^T$, 将 A 作 SVD 分解:

$$A_{m_1 \times m_2} = U \Sigma V^T \quad (1)$$

其中

$$U_{m_1 \times r} = (U_1, U_2, \dots, U_r)$$

$$\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$$

$$V_{m_2 \times r} = (V_1, V_2, \dots, V_r)$$

$$r \leq \min(m_1, m_2)$$

将 X 、 Y 场按各自的奇异向量完全展开:

$$X_{m_1 \times n} = U_{m_1 \times r} T_{r \times n} \quad (2)$$

$$Y_{m_2 \times n} = V_{m_2 \times r} Z_{r \times n} \quad (3)$$

T 、 Z 分别为 X 、 Y 场的时间权重系数矩阵, 可对 $U_{m_1 \times r}$ 求逆 $U_{r \times m_1}^{-1}$, 由式(2)可导出:

$$T_{r \times (n+1)} = U_{r \times m_1}^{-1} X_{m_1 \times (n+1)} \quad (4)$$

已知 X 的第 $n+1$ 个样本, 由式(4)即可得出 T 在 $n+1$ 时的时间系数, 因为左右场耦合向量之间具有较高的线性相关关系, 可建立回归方程求出右场空间向量在 $n+1$ 时的时间系数:

$$T_{r \times (n+1)} \rightarrow Z_{r \times (n+1)} \quad (5)$$

将 Z 代入式(3)可得到 $Y_{m_2 \times (n+1)}$, 即在 $n+1$ 时 Y 的预测场。

利用式(1)先做前冬海温场和东北地区夏季气温场 1961~1997 年(样本数 $n=37$) 的奇异值分解, 对具有大部分方差贡献的前 4 对耦合向量的空间分布特征进行讨论。在

制作预报的过程中, 先求出前冬海温场(左场)空间向量的广义逆矩阵 $U_{r \times m_1}^{-1}$, 再由式(4), 用前一年的冬季海温场实况资料, 即可得到左场前 4 个空间向量的时间系数。建立 T 、 Z 之间的线性回归方程求出右场前 4 个空间向量在当年的时间系数, 最后由式(3)即可得到当年夏季平均气温空间分布的预报值。利用此方法, 对近几年夏季平均气温做出试报, 以检验此方法的试报效果, 并用 2002 年冬季海温场对 2003 年东北地区夏季气温做出预测。

采用的检验方法是根据中国气象局 1999 年制定的《短期气候预测质量评定暂行办法》中规定, 气温趋势预测 6 级评分制用语为: 特低: 气温距平 $\Delta T \leq -1.0$; 偏低: $-1.0 < \Delta T \leq -0.5$; 略低: $-0.5 < \Delta T < 0$; 略高: $0 \leq \Delta T < 0.5$; 偏高: $0.5 \leq \Delta T < 1.0$; 特高: $\Delta T \geq 1.0$ 。单站的 6 级评分制预测评分标准为, 预测与实况距平符号相同及符号不同但相差只有 1 级: 100 分; 预测与实况同为偏高、偏低: 150 分; 预测与实况同为特高、特低: 200 分; 其它: 0 分。整个区域的 6 级评分制预测评分计算公式为:

$$P_s = (N_0 + 0.5N_1 + 1.0N_2) / (N + 0.5N_1 + 1.0N_2) \times 100\% \quad (6)$$

公式(6)中 P_s : 预测评分; N : 参加评分的总站数; N_0 : 预测与实况距平符号相同的站数及符号不同但相差只有 1 级的站数之和; N_1 : 预测与实况同为偏高、偏低的站数; N_2 : 预测与实况同为特高、特低的站数。

2 前冬北太平洋海温场和东北地区夏季气温场的相关关系

图 1 为 1961~1997 年前冬北太平洋海温场和东北地区夏季气温场 SVD 分析前 2 对耦合模态的空间分布, 可以看出第 1 耦合向量的分布特点是, 前冬北太平洋海温场在赤道太平洋及北太平洋东部为负值区, 中心

位于赤道太平洋中部,北太平洋西部为正值区,中心位于 25°N 日界线一带,对应东北地区夏季气温场均为正值分布,显著异常中心位于东北地区中部。第2耦合向量的分布特点是,除在西风飘流区为正区外,其它大部为负值区,东北地区夏季气温场为北部及东部为负值区,其它为正值区。第3耦合向量的分布为(图略),赤道太平洋海温场呈纬向带

状分布的正值区,其北侧基本为负值区,东北地区夏季气温场为 46°N 以北主要为负值区,以南均为正值区。第4耦合向量的分布为(图略),太平洋海温场除在加利福尼亚洋流区为负区外,其它基本为正值区,东北地区夏季气温场以 44°N 为界,北部为负值区,而南部为正值区。

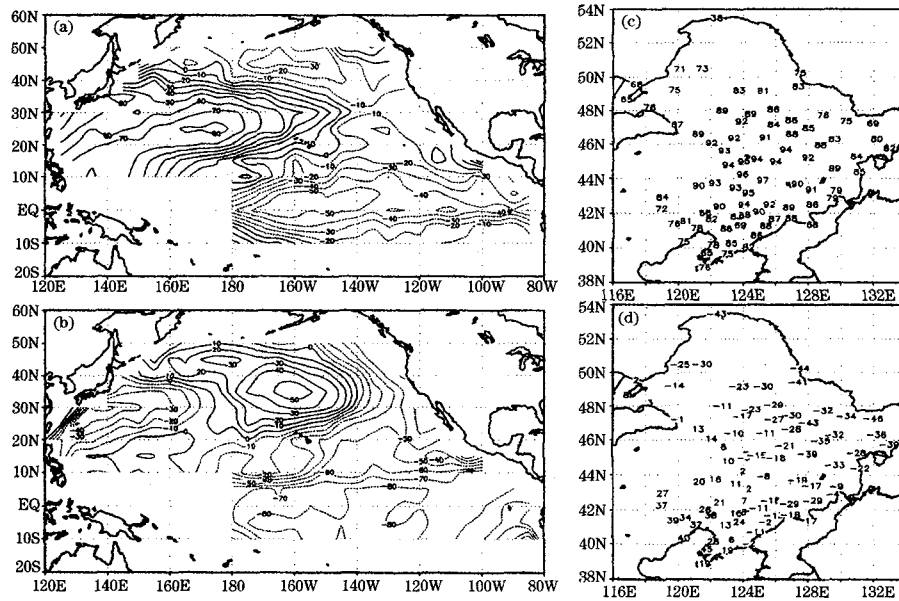


图1 前冬北太平洋海温场和东北地区夏季气温场前2对耦合空间向量相关系数($\times 100$)

(a)(b)为左场空间向量,(c)(d)为右场空间向量

从前冬太平洋海温场前4个奇异向量的空间特征看,在热带赤道太平洋均分布有正、负值中心,表明该区域海温的变化强度、位置与范围的不同对东北地区夏季气温可能会产生不同程度的影响,当出现 El Nino 或 La Nina 海温强烈变化的事件时,东北地区夏季气温发生异常的概率较大,是预示东北地区夏季气温变化的强前兆信号。对于第1耦合向量左、右场空间向量的分布特征,若前冬太平洋海温场在热带低纬度区域及太平洋东部海温偏冷(或偏暖);而在太平洋西部海温距平为正(或负)时,则东北地区夏季气温总体呈偏高(或偏低)的趋势。其余的几对耦合向

量左、右场空间向量的分布特征反映为,如前冬太平洋海温场呈现出对应的异常分布形态,东北地区夏季气温可能会出现南北或东西向不一致的分布。

表1 前4对奇异向量的方差贡献及耦合模态的相关系数

	第1 模态	第2 模态	第3 模态	第4 模态
协方差贡献	0.79	0.08	0.05	0.02
模态相关系数	0.5657	0.5876	0.4700	0.4916

表1给出了前冬北太平洋海温场和东北地区夏季气温场奇异值分解前4对奇异向量的协方差贡献和相应耦合模态的相关系数。可以看到,第1耦合模态的方差贡献为79%,占有比较大的协方差比重,前4对耦合

模态的累积方差贡献即超过了90%,包含这两变量场之间相关性的大部分信息。前4对耦合模态的相关也十分显著,耦合相关系数超过了0.01或0.001的信度检验($\alpha_{0.01}=0.4182$, $\alpha_{0.001}=0.5189$),这说明前冬北太平洋海温场与东北地区夏季气温之间具有较好的时空相关关系。

3 预报方法的建立及检验

基于SVD技术,建立了东北地区夏季气温定量空间分布预测方法,对1998~2002年共5个年份进行了试报,将东北地区80个测站夏季气温距平的预报值及实况值相加,再除以测站数,得到全区域夏季气温的预报与实况趋势,再将这几年的试报做全区域6级评分结果由表2给出。同每年的实况对比,全区域夏季气温试报趋势与实况一致,对于1999、2000和2001年夏季气温偏高或特高的年份,也预报出偏高的等级。从全区域的6级评分结果看,5年都高于75%,平均评分为92.7%。在这5年中,1998和2002年东北地区夏季气温为正常年份,而1999、2000

和2001年均属高温年份,夏季气温变化较异常,因而对这几年的预测难度较大。从采用SVD技术建立的东北地区夏季气温定量空间分布预测方法的试报结果看,其性能比较稳定,具有一定的预测能力。

表2 1998~2002年东北地区夏季气温试报与实况的距平值(℃)及全区评分

年份	1998	1999	2000	2001	2002
试报值	0.10	0.65	0.55	0.85	0.04
实况值	0.07	0.84	2.12	1.13	0.08
全区评分	90.4%	96.9%	100%	99.1%	77.3%

对于东北地区夏季气温异常高温的2000年的试报结果由图2给出。从图2b中看到,2000年夏季东北地区发生了全区域性的持续性高温天气,所有测站的夏季气温均达到了特高等级,全区夏季平均气温距平值为2.1℃,是有历史资料的最高年份。对于这种异常的夏季高温,试报的结果由图2a中可见,试报的空间分布状为全区均为正距平,趋势基本正确,并且在多数测站达到了偏高等级。

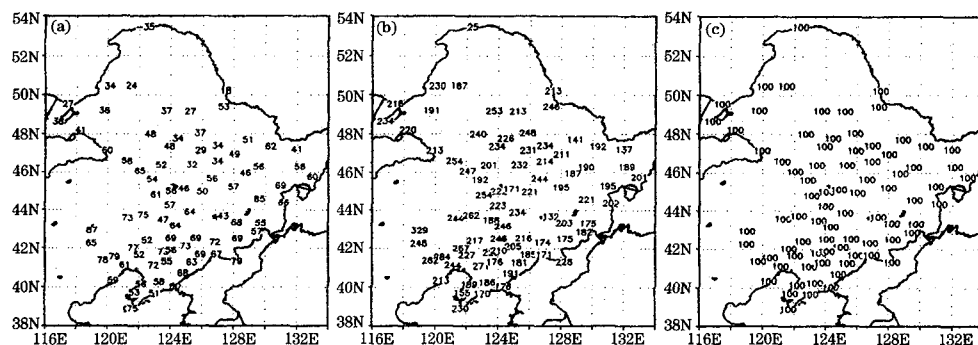


图2 2000年东北地区夏季气温试报结果

(a)(b)为试报与实况的距平值(0.01℃);(c)为各测站评分(%)

采用此预测方法,利用2002年冬季北太平洋海温场资料,制作了2003年东北地区夏季气温预测,其结果见图3,由图3a可看到预测东北地区夏季气温距平值基本为正常稍高,全区夏季气温距平值为0.2℃。由图3b看到东北地区夏季气温距平值基本实况多数为负距平,全区夏季气温距平值为-0.1℃,属正常稍低等级。虽然在多数站的预测与实

况趋势相反,但均属正常范围,全区域6级评分结果为92.5%,各站的评分情况由图3c给出。

4 结论和讨论

(1)东北地区夏季气温同前冬北太平洋海温场之间存在着一定的关系,与热带低纬度洋面海温的变化关系密切,该区海温的变化强度、位置与范围的不同对东北地区夏季

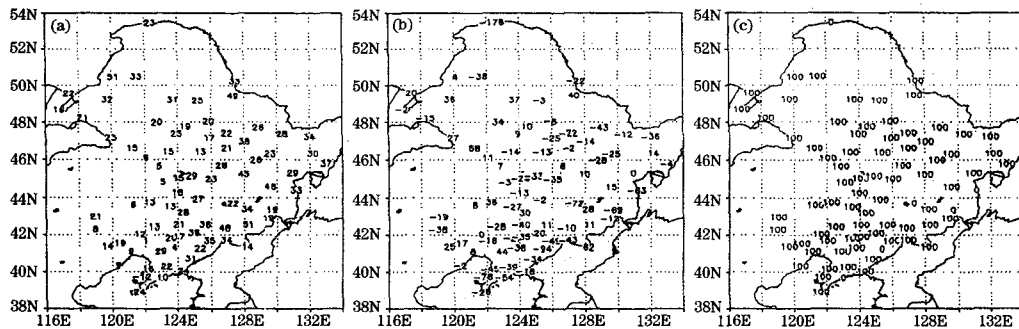


图3 2003年东北地区夏季气温预测结果(说明同图2)

气温会产生不同程度的影响,当发生 El Nino 或 La Nina 海表海温强烈变化的事件时,东北地区夏季气温出现异常的可能性较大。

(2)采用 SVD 技术,利用前冬北太平洋海温场资料,建立的东北地区夏季气温预测方法,考虑了两个变量场之间的整体相关关系,预测结果直接以定量的空间分布形式给出,有利在实际业务中的应用。

(3)此预测方法在一定程度上避免了因子回归方程或时间序列延伸等预测方法中存在的不确定性和随机性等问题,从近几年的试报检验效果看,其性能比较稳定,具有一定的预测能力。

(4)本文中的预测方法是建立在前冬北太平洋海温场同东北地区夏季气温场的相关

关系的基础之上的,其中的物理机制和影响过程还不清楚,尚需进一步的研究,并且东北地区夏季气温除了与海温场有关外,同其它影响因子和变化过程也存在着复杂的关系,这都需要在以后的工作中加强研究。

参考文献

- 1 丁士晟. 东北地区夏季低温的气候分析及其对农业生产的影响. 气象学报, 1980, 38 (3): 234~241.
- 2 安刚, 廉毅, 王琪. 近九十年吉林省松辽平原作物生长季气温变化的小波分析. 气象学报, 1998, 56 (4): 458~466.
- 3 廉毅, 安刚. 东亚季风、El Nino 与中国松辽平原夏季低温关系初探. 气象学报, 1998, 56 (3): 724~735.
- 4 丁裕国, 江志红. SVD 方法在气象诊断分析中的普适性. 气象学报, 1995, 54 (3): 365~371.

Prediction of Summer Temperature with SVD in Northeast China

Yang Qing^{1,2} Lian Yi³ He Jinhai¹

(1. Nanjing Institute of Meteorology, Nanjing 210044; 2. Dandong Meteorological Office, Liaoning Province;

3. Jilin Meteorological Institute)

Abstract

Base on the summer temperature from 80 observational stations of Northeast China and North Pacific sea surface temperature(SST) data from 1961 to 2002, the relationship between the SST of the preceding winter and the summer temperature in Northeast China is studied with the Singular Value Decomposition(SVD). The results show that the SST in preceding winter has a very close relationship with the summer temperature in Northeast China. The prediction method based on the SVD is developed. The predict-examination in the last years shows that the method has the ability of prediction and steady character.

Key Words: singular value decomposition(SVD) summer temperature prediction